

Magnetismus hoch 4

- Evaluation des praktischen Einsatzes des Lehrkonzeptes für die Hochschule -

Daniel Laumann

Institut für Didaktik der Physik
Westfälische Wilhelms-Universität
Wilhelm-Klemm-Str. 10
48149 Münster

daniel.laumann@uni-muenster.de

Kurzfassung

Das Projekt „Magnetismus hoch 4“ strebt die Entwicklung eines anschlussfähigen Lehrkonzeptes an, das die konsistente Vermittlung der Fachinhalte des Magnetismus in unterschiedlichen Jahrgangsstufen der Schule sowie der Hochschule ermöglichen soll. Das Lehrkonzept umfasst eine didaktische Strukturierung der Fachinhalte sowie begleitende experimentelle Zugänge und digitale Inhalte, die eine Anwendung des Lehrkonzeptes ermöglichen sollen und im Rahmen des Projektes entwickelt werden. Damit verfolgt „Magnetismus hoch 4“ das Ziel die Lehre in diesem physikalischen Themenbereich mit Hilfe multipler Repräsentationen zu realisieren. In der ersten Phase des Projektes erfolgt die Entwicklung entsprechender Inhalte auf Hochschulniveau.

Das methodische Vorgehen der Entwicklungsarbeit orientiert sich am Design-Based Research-Ansatz. Dabei erfolgt die Erarbeitung zunächst auf Grundlage bestehender theoretischer Kenntnisse. Nach Entwicklung erster Inhalte sollen diese praxisnah empirisch untersucht werden, um anschließend notwendige Überarbeitungen durchführen zu können.

Dieser Beitrag beschreibt die Phase der praktischen Erprobung der Inhalte in der empirische Untersuchungen das konzeptuelle Verständnis der Lernenden sowie die Studierendeneinstellungen zu zwei unterschiedlichen digitalen Inhalten erheben. Mit Hilfe der Ergebnisse der Untersuchung soll die Wirkung des gesamten Lehrkonzeptes beurteilt werden. Zusätzlich soll die Untersuchung der digitalen Inhalte die Weiterentwicklung der zunächst prototypischen Elemente ermöglichen. Die Darstellung der Ergebnisse bezieht sich in diesem Beitrag exemplarisch auf eine interaktive Simulation zur Untersuchung ferromagnetischer Magnetisierungsprozesse, die zunächst beschrieben wird, um anschließend die Beurteilung der Studierenden darstellen und diskutieren zu können.

1. Einleitung

Die Faszination magnetischer Phänomene offenbart sich vielen Lernenden bereits früh im naturwissenschaftlichen Unterricht und erzeugt dabei Interesse und Motivation [1], [2]. Während die phänomenologischen Vermittlungsansätze sich seit vielen Jahrzehnten in der Unterrichtspraxis bewähren und dort wirkungsvolle Zugänge zum Ferromagnetismus und Elektromagnetismus bereitstellen [3], [4], [5], weisen die Konzepte im Bereich der Modellbildung teilweise didaktische und fachliche Mängel auf, die eine konsistente Vermittlung fachlicher Inhalte erschweren [6], [7]. Insgesamt legen zahlreiche Forschungsbefunde den Schluss nahe, dass Lernende altersunabhängig über ein eher geringes konzeptuelles Verständnis im Bereich Magnetismus verfügen [8], [9], [10].

Weiterhin muss festgestellt werden, dass sich durch die Verfügbarkeit hochenergetischer Neodymmagnete das im Klassenraum erfahrbare Spektrum magnetischer Erscheinungsformen erheblich vergrößert [11], [12], [13], da in starken Magnetfeldern auch

dia- und paramagnetische Phänomene erfahrbar gemacht werden können. Obwohl unterschiedliche fachdidaktische und fachliche Argumente für die Berücksichtigung dieser magnetischen Erscheinungsformen in der Lehre angeführt werden können [14], beschränkt sich die Vermittlung fachlicher Inhalte zum Magnetismus aktuell weiterhin auf ferro- und elektromagnetische Phänomene.

Das Projekt „Magnetismus hoch 4“ strebt insgesamt die Entwicklung eines selbstkonsistenten Lehrkonzeptes für Magnetismus an, dass die vier magnetischen Erscheinungsformen Dia-, Para-, Ferro- und Elektromagnetismus berücksichtigt und eine anschlussfähige Vermittlung von der Sekundarstufe I bis hin zur Hochschule ermöglicht. In der ersten Phase erfolgt die Entwicklung einer Sachstruktur für Dia-, Para- und Ferromagnetismus auf Hochschulniveau [15] mit begleitenden multiplen Repräsentationen in Form von exemplarischen digitalen Inhalten [16] und experimentellen Zugängen [17], [18].

Die Entwicklungsarbeit des Projektes „Magnetismus hoch 4“ orientiert sich am Prinzip der Design-Based

Research [19]. Aus diesem Grund ist die empirische Untersuchung der unterschiedlichen Lehrelemente in der Praxis als Teil des Design-Kreislaufes notwendig [20], um Rückschlüsse auf die Wirkung des Lehrkonzeptes ziehen und Anpassungen oder Überarbeitungen vornehmen zu können.

In diesem Beitrag soll beschrieben werden auf welche Art und Weise das entwickelte Lehrkonzept in der Praxis erprobt wird und welche begleitenden empirischen Untersuchungen durchgeführt werden. Weiterhin werden für ein exemplarisches Element der konzipierten Inhalte die Untersuchungsergebnisse beschrieben und diskutiert. Bei diesem ausgewählten Inhalt handelt es sich um eine interaktive Simulation zur Untersuchung ferromagnetischer Magnetisierungsprozesse.

Die Erkenntnisse und Erfahrungen der Praxisdurchführung zeigen, dass der Nutzen interaktiver Inhalte durch den Einsatz zugehöriger Realexperimente möglicherweise weiter gesteigert werden kann. Aus diesem Grund werden abschließend einige Ideen zur integrativen Verwendung digitaler Inhalte und realer Phänomene bzw. Experimente beschrieben, die sich aus der Auswertung der Praxisdurchführung des Projektes „Magnetismus hoch 4“ ergeben.

2. Konzeption der Praxisdurchführung

Für die Praxisdurchführung werden exemplarische Inhalte des Projektes „Magnetismus hoch 4“ ausgewählt [15], mit denen Lehramtsstudierenden im Fach Physik die grundlegenden Fachinhalte zum Dia-, Para- und Ferromagnetismus vermittelt werden sollen. Die Praxisdurchführung erfolgt im Wintersemester 2015/16 in zwei Seminaren der Studiengänge Lehramt Gymnasium/Gesamtschule (GyGe, $N = 12$) sowie Hauptschule/Realschule/Gesamtschule (HRGe, $N = 10$).

Die Studierenden arbeiten im Seminar in Kleingruppen mit zwei bis vier Personen. Für die Durchführung steht den Lernenden eine schriftliche Materialsammlung mit Aufgaben, Experimentieranleitungen und Hinweisen auf fachliche Inhalte sowie eine Materialkiste mit Experimentiermaterialien, etc. zur Verfügung. Die Gestaltung der Sitzungen orientiert sich am Prinzip des handlungsorientierten Unterrichts [21].

Die Sitzungen werden vom Autor dieses Beitrages durchgeführt. Um im Nachhinein die Kontrolle des Einflusses der Lehrperson zu ermöglichen, wird die Arbeit sämtlicher Kleingruppen videographiert und es werden Tonaufnahmen angefertigt. Die Arbeit der Studierenden an Inhalten zum Magnetismus erfolgt für jede Gruppe der Lernenden in vier Seminarsitzungen (siehe Abb.1).

In Sitzung 0 wird mit den GyGe-Studierenden das Prinzip der Elektronenkonfiguration und Besetzung von Energiezuständen wiederholt, da für diese Studiendengruppe ein fachlich höheres Lernziel angestrebt wird, dass entsprechende Kenntnisse zur Struktur der Materie benötigt.

Sitzung 1 thematisiert in beiden Seminaren die makroskopische Phänomenologie der magnetischen Erscheinungen Dia-, Para- und Ferromagnetismus. Die Motivation und Anregung von Fragen erfolgt durch einen einführenden Kurzfilm (Projektteaser), der ebenfalls im Rahmen des Projektes entwickelt wurde. Im Anschluss daran untersuchen die Studierenden die grundlegenden Eigenschaften von Diamagnetismus (schwache Abstoßung im äußeren Magnetfeld, keine Remanenz), Paramagnetismus (schwache Anziehung im äußeren Magnetfeld, keine Remanenz) sowie Ferromagnetismus (starke Anziehung im äußeren Magnetfeld, Remanenz) selbsttätig im Realexperiment „Magnetisches Pendel“ [15].

In Sitzung 2 erfolgt die Modellierung der makroskopischen Prozesse mit Hilfe der Magnetisierung, die als erste physikalische Größe zur Beschreibung und Charakterisierung magnetischer Phänomene dient. Die Erarbeitung erfolgt mit Hilfe eines Realexperimentes zum magnetooptischen Kerr-Effekt (MOKE) [18] und einer interaktiven Simulation zu ferromagnetischen Magnetisierungsprozessen, die nachfolgend in Abschnitt 4 ausführlich beschrieben wird.

Der Abschluss der Themeneinheit Magnetismus erfolgt in beiden Seminaren in Sitzung 3 durch den Übergang von der makroskopischen zur mikroskopischen Beschreibung. Hier wird als physikalische Größe zur Beschreibung das magnetische Moment an Stelle der Magnetisierung gewählt. Die Studierenden beschäftigen sich in dieser Sitzung mit den unterschiedlichen Ursachen magnetischer Momente.

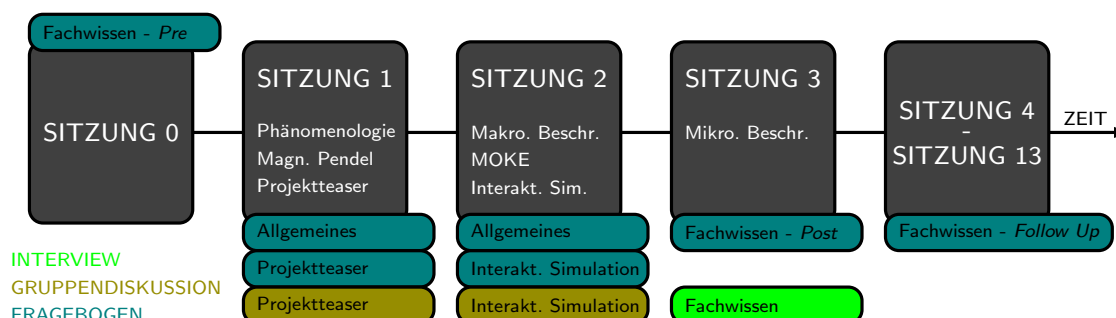


Abb. 1: Untersuchungsplan zur praktischen Erprobung der Projektinhalte und Ablauf der Praxisdurchführung mit Sitzungsinhalten und Erhebungsinstrumenten (farbig.).

3. Untersuchungsplan der empirischen Erhebung zur Praxisdurchführung

Die empirische Untersuchung bezieht sich insbesondere auf das konzeptuelle Verständnis (Fachwissen) der Studierenden sowie deren Einstellungen zu den digitalen Projekthinhalten (Projektteaser & interaktive Simulation zu ferromagnetischen Magnetisierungsprozessen, vgl. Abb.1).

Die Erhebung des Fachwissens erfolgt durch einen Fragebogen mit offenen und geschlossenen Items in Form einer Pre-Post-Follow Up-Untersuchung (vgl. Abb.1) und zusätzlich über leitfadengestützte Interviews, die nach Abschluss der Seminarsitzungen mit den GyGe-Studierenden geführt werden. Beide Untersuchungen beziehen sich vor allem auf die Vorstellungen zur grundlegenden Phänomenologie von Dia-, Para- und Ferromagnetismus, die Beschreibung der Phänomene mit Hilfe der Magnetisierung oder magnetischer Momente sowie die unterschiedlichen Ursachen dieser physikalischen Größe.

Die Vorgehensweise zur Untersuchung der Studierendeneinstellungen zu den digitalen Inhalten erfolgt für beide Elemente analog. Zum Abschluss der jeweiligen Seminarsitzung, d.h. Sitzung 1 für den Projektteaser und Sitzung 2 für die interaktive Simulation, werden die Lernenden gebeten an Hand von jeweils vier bzw. drei Leitfragen Gruppendiskussionen durchzuführen. Durch die Methode Gruppendiskussion soll ein diskursiver Austausch über den jeweiligen digitalen Inhalt angeregt werden, der einen vertieften Einblick in die Einstellungen der Studierenden gewähren soll [22]. Zusätzlich werden die Teilnehmenden gebeten im Anschluss an die jeweilige Seminarsitzung einen Fragebogen mit offenen und geschlossenen Items zum Projektteaser oder der interaktiven Simulation auszufüllen.

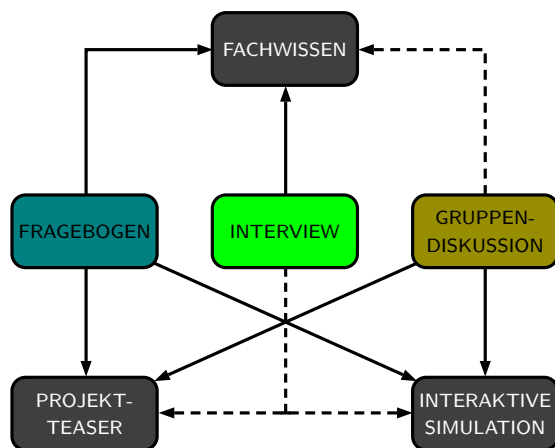


Abb. 2: Konzeption der Triangulation zur Untersuchung in den Bereichen Fachwissen, Projektteaser und interaktive Simulation.

Auf diese Art und Weise werden die drei für die empirische Untersuchung relevanten Bereiche Fachwissen, Projektteaser und interaktive Simulation zu ferromagnetischen Magnetisierungsvorgängen

jeweils mit Hilfe zweier Instrumente erfasst. Zusätzlich zeigt sich jedoch, dass auch die Interviews Hinweise auf die Einstellungen der Studierenden zu den digitalen Projekthinhalten enthalten und die Gruppendiskussionen an bestimmten Stellen Rückschlüsse auf das konzeptuelle Verständnis der Studierenden zulassen, sodass das Prinzip der Triangulation als erfüllt angesehen werden kann (vgl. Abb.2) [23].

Weiterhin sollte berücksichtigt werden, dass auch die Aufzeichnungen der Studierenden in den schriftlichen Materialsammlungen sowie die Audio- und Videoaufzeichnungen ein umfangreiches, ergänzendes Datenmaterial darstellen, dass ebenfalls für die Auswertung der empirischen Untersuchung berücksichtigt werden kann.

4. Untersuchung der Studierendeneinstellung zur interaktiven Simulation zu ferromagnetischen Magnetisierungsprozessen

Die interaktive Simulation (Widget) zu ferromagnetischen Magnetisierungsprozessen beschreibt die Ausrichtung der magnetischen Momente Weisscher Bezirke im äußeren Magnetfeld und erläutert die Verbindung zur ferromagnetischen Hysteresekurve, die mit schulischen Mitteln an einem massiven Eisenkern oder mit Hilfe des magnetooptischen Kerr-Effektes gemessen werden kann [18].

4.1. Beschreibung der interaktiven Simulation

Der erste Abschnitt der Benutzeroberfläche bezieht sich auf das Grundprinzip des zugehörigen Realexperimentes (vgl. Abb.3(a)). Die Darstellung zeigt einen Elektromagneten und ein quaderförmiges, ferromagnetisches Objekt zwischen den Polen des Elektromagneten, das durch Weissche Bezirke gekennzeichnet ist. Innerhalb der Weisschen Bezirke werden die magnetischen Dipolmomente \vec{m} durch Pfeile repräsentiert. Dieser Abschnitt orientiert sich somit am real erfahrbaren Magnetisieren eines ferromagnetischen Stoffes, das beispielsweise in einfacher Form durch das Überstreichen eines Stahl Nagels mit Hilfe eines starken Permanentmagneten durchgeführt werden kann und umfasst zudem das Modell der Weisschen Bezirke als mikroskopische Modellierungsebene.

Der zweite Abschnitt zeigt eine ferromagnetische Hysteresekurve, die als Ergebnis der zuvor beschriebenen Realexperimente oder als mathematische Beschreibung ferromagnetischer Magnetisierungsvorgänge interpretiert werden kann (vgl. Abb.3(b)). Es sollte berücksichtigt werden, dass die Hysteresekurve im MB -Diagramm dargestellt wird. Die Wahl der magnetischen Flussdichte \vec{B} als Kenngröße für das äußere Magnetfeld und der Magnetisierung \vec{M} als physikalische Größe zur Beschreibung des vorliegenden magnetischen Zustandes des untersuchten Objektes entspricht der grundsätzlichen Konzeption des Projektes „Magnetismus hoch 4“ und weicht an dieser Stelle bewusst von der traditionellen Beschreibung in Form eines BH -Diagrammes ab [15].

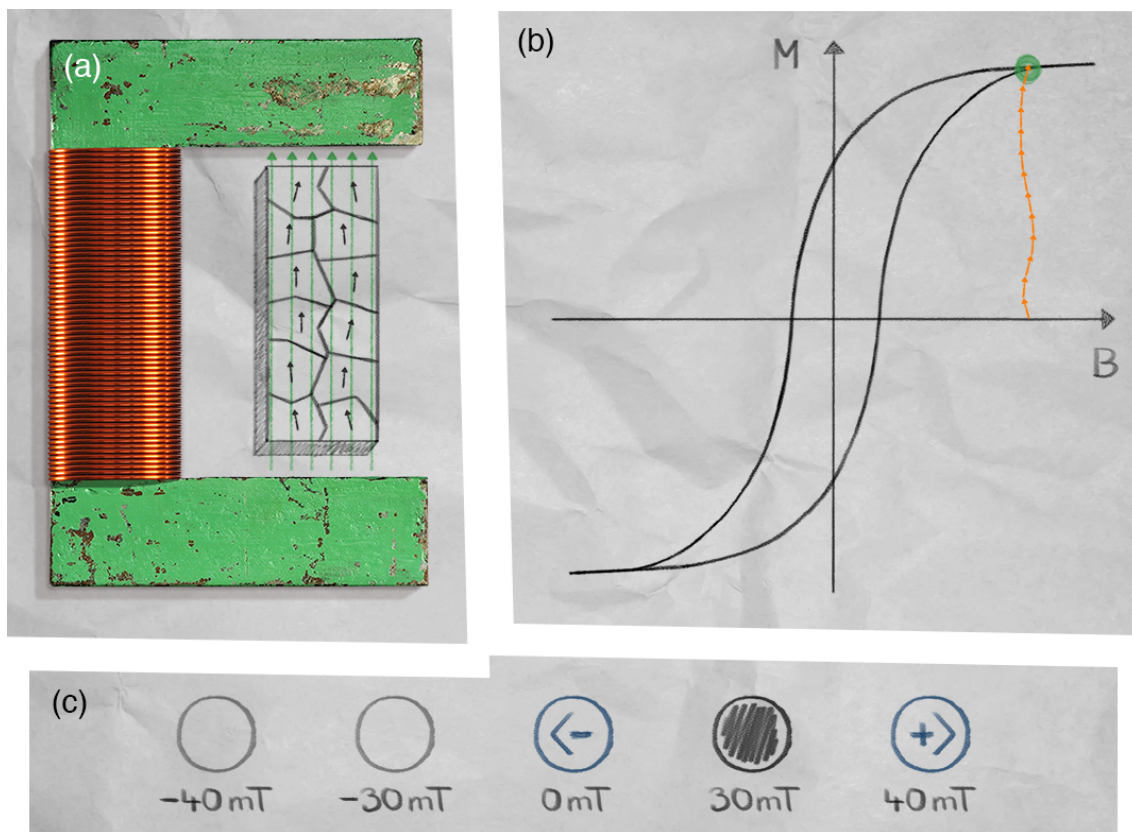


Abb. 3: Benutzeroberfläche des Widgets zur Magnetisierung ferromagnetischer Objekte mit den Elementen Experiment (a), Auswertung (b) und Bedienung (c).

Im dritten Abschnitt befinden sich die Bedienelemente der interaktiven Simulation. Der Benutzer erhält hier die Möglichkeit fünf Werte ($B = 0 \text{ mT}, \pm 30 \text{ mT}, \pm 40 \text{ mT}$) für das Magnetfeld des Elektromagneten auszuwählen (vgl. Abb.3(c)). Die interaktive Simulation ermöglicht jeweils die Auswahl der nächstkleineren und nächstgrößeren Magnetfeldstärke.

Nach der Auswahl einer Magnetfeldstärke durch den Benutzer erfolgt zunächst die Ausrichtung und Umorientierung der magnetischen Momente innerhalb des gezeichneten ferromagnetischen Objektes. Im Anschluss bewegen sich die Pfeilrepräsentationen der magnetischen Momente in den Bereich der Hysteresekurve und stapeln sich nach dem Prinzip der Vektorsumme am Ort der aktuellen Feldstärke. Somit wird die Magnetisierung als Vektorsumme der magnetischen Momente interpretiert. Dies entspricht unter Berücksichtigung eines entsprechenden Einheitsvolumens der fachlichen Definition der Magnetisierung \vec{M} als Vektorsumme magnetischer Momente \vec{m} pro Volumen V . Der dynamische Übergang soll helfen die Verbindung zwischen experimentellem Handeln und Messergebnis bzw. theoretischer Beschreibung herzustellen.

4.2. Methodik der empirischen Untersuchung

Zur Erhebung der Studierendeneinstellungen zum eben beschriebenen Widget werden hauptsächlich Gruppendiskussionen und ein Fragebogen genutzt.

Die in den Interviews getätigten Äußerungen ergeben keine weiterführenden Erkenntnisse und werden aus diesem Grund für die Beschreibung der Studierendeneinstellungen zur interaktiven Simulation nicht gesondert berücksichtigt.

Bei den Gruppendiskussionen erhalten die Studierenden jeweils ca. drei Minuten Zeit sich innerhalb der Kleingruppen über folgende Leitfragen auszutauschen:

- Was ist euch vom Widget besonders in Erinnerung geblieben? (GD2.1)
- Was hat euch am Widget gefallen und was würdet ihr anders machen? (GD2.2)
- Wie beurteilt ihr die Bedienbarkeit des Widgets? (GD2.3)

Diese Leitfragen sollen eine kritische Diskussion über die Bedienbarkeit und aktuelle Gestaltung der interaktiven Simulation anregen. In beiden Seminaren beteiligen sich übergreifend $N = 18$ Studierenden an den Gruppendiskussionen zur interaktiven Simulation.

Der Fragebogen ergänzt die Items GD2.1 bis GD2.3 der Gruppendiskussionen um weitere drei offene Fragebogenitems FB3.3 bis FB3.5, die den Leitfragen der Gruppendiskussionen entsprechen. Die Lernenden erhalten somit die Möglichkeit unabhängig von der Gruppenkonstellation ihre eigenen Vorstellungen im Fragebogen individuell zu äußern. Weiterhin beinhaltet der Fragebogen sechs geschlossene

Items (FB3.6). Hier werden die Studierenden gebeten Aussagen über das Widget auf einer vierstufigen Skala (0 = „Stimme nicht zu“ bis 3 = „Stimme voll zu“) zu beurteilen. Da die Aussagekraft der geschlossenen Items auf Grund der geringen Teilnehmerzahl eher gering ist, soll an dieser Stelle keine ausführliche Darstellung erfolgen [15]. Insgesamt ergibt sich jedoch bereits durch diese Items eine eher positive Beurteilung der interaktiven Simulation.

Für die detaillierte Analyse der Studierendeneinstellungen werden die Gruppendiskussionen und offenen Fragebogenitems genutzt. Zunächst werden mit Hilfe der offenen Fragebogenitems FB3.3 bis FB3.5 in einem induktiven Verfahren jeweils sechs Kategorien für Stärken und Schwächen des Widgets gebildet [16]. Es zeigt sich, dass durch die Stärken und Schwächen übergeordnete Kategorien erstellt werden können, die jeweils positive und negative Aspekte zusammenfassen. Zwei Kategorien beziehen sich auf die Benutzeroberfläche der interaktiven Simulation. Die Aussagen werden hier in die Kategorien *Benutzeroberfläche & Gestaltung (Ästhetik) (K1)* sowie *Benutzeroberfläche & Gestaltung (Funktionalität) (K2)* unterteilt, da diese Aspekte gesondert analysiert werden sollten und einander nicht zwangsläufig wechselseitig beeinflussen. Darüber hinaus werden in der Kategorie *Bedienbarkeit & Interaktivität (K3)* Äußerungen erfasst, die sich auf die praktische Anwendung der interaktiven Simulation durch die Studierenden beziehen. Abschließend werden Kommentare zu bestimmten fachlichen Inhalten in der gleichnamigen Kategorie *Fachliche Inhalte (K4)* zusammengefasst.

Nach Transkription der Gruppendiskussionen erfolgt direkt die Codierung, d.h. die Zuweisung der Kategorien, ohne vorherige Überarbeitung der Transkripte, um den ersten Analyseschritt mit direktem Bezug zum ursprünglichen Datenmaterial auszuführen. Im Anschluss an die Codierung erfolgt das Redigieren, Ordnen und Explizieren in einem gemeinsamen Analyseschritt [24]. Abschließend wird eine inhaltliche Strukturierung in Anlehnung an die qualitative Inhaltsanalyse durchgeführt [25].

Die nachfolgende Beschreibung der Ergebnisse bezieht sich ausschließlich auf die Leitfragen der Gruppendiskussionen GD2.1 bis GD2.3, da die zugehörigen Äußerungen der Gruppendiskussionen den Aussagen der Studierenden in den offenen Fragebogenitems FB3.3 bis FB3.5 entsprechen oder über diese hinausgehen [15]. Die Darstellung der Ergebnisse beinhaltet als Zitate die originalen Äußerungen von Teilnehmenden aus den Gruppendiskussionen.

4.3. Ergebnisse und Diskussion

K1: Benutzeroberfläche & Gestaltung (Ästhetik)

Aus den wenigen Äußerungen zur Ästhetik der Benutzeroberfläche ist zu entnehmen, dass das Widget insgesamt eine „sehr gute Darstellung“ aufweist, die als „irgendwie cool“ beschrieben wird.

K2: Benutzeroberfläche & Gestalt. (Funktionalität)

Die Äußerungen zur Funktionalität der Gestaltung der Benutzeroberfläche durch die Studierenden sind von großer Bedeutung für Beurteilung der interaktiven Simulation. Für die Lernenden ist das Widget „so einfach aufgebaut, dass man schnell alles überblicken kann“ und somit „relativ übersichtlich“ gestaltet.

In Ergänzung zur grundsätzlich positiven Einschätzung zeigt sich jedoch auch, dass bestimmte Komponenten der Benutzeroberfläche überarbeitet werden sollten. Der zuvor beschriebene dynamische Übergang der Pfeile als Repräsentanten für die magnetischen Momente wird als „leicht träge“ und „zu langsam“ beurteilt. Der zeitliche Verlauf der Dynamik sollte somit in einer Überarbeitung angepasst werden. Den Studierenden hilft der Übergang jedoch grundsätzlich, da „du 'ne Verbindung herstellen kannst, zwischen dem Experiment und der Kurve“, sodass eine der zentralen Funktionen der Simulation erfüllt zu sein scheint. Die graphische Gestaltung des Übergangs versucht mit Hilfe von Ein- und Ausblendungen den Fokus des Nutzens zu lenken. Obwohl dieses gestalterische Element grundsätzlich von den Lernenden anerkannt wird, werden manche durch die Ausgestaltung „irritiert“ und sie wird als „merkwürdig“ empfunden. Auch dieser Aspekt sollte bei der Überarbeitung der interaktiven Simulation berücksichtigt werden.

Die eigentliche Bedienung wird dem Nutzen durch fünf Buttons ermöglicht (vgl. Abb.3(c)). Diese Buttons sind jedoch offenbar aus Sicht der Studierenden „nicht so gut hervorgehoben“ und es wird nicht unmittelbar klar, ob „man da auch wirklich klicken“ kann. In der Überarbeitung sollte somit klar hervorgehoben werden, dass es sich bei den Buttons zur Auswahl der Magnetfeldstärke um interaktive Elemente handelt.

Insgesamt fällt den Studierenden zudem negativ auf, „dass [das Widget] nicht beschriftet ist“. Sie fordern „'ne kleine Legende“ oder „'ne Anzeige, die halt immer sagt bei wie viel Tesla man gerade ist“. Auch die Idee „vorab 'ne kleine Erklärung“ zur Funktionsweise des Widgets zu integrieren wird als mögliches ergänzendes Element genannt. Da das Widget bislang vollständig ohne Beschriftungen gestaltet ist und ausschließlich Zahlen und Formelzeichen aufweist, erscheint hier eine Überarbeitung zur besseren Zugänglichkeit im Sinne der Lernenden sinnvoll.

K3: Bedienbarkeit & Interaktivität

Ergänzend zu Wirkung gestalterischer Einflüsse auf die Funktionalität, stellt auch die eigentliche Beurteilung der Interaktivität ein wichtiges Kriterium zur Einordnung der bisherigen Version des Widgets dar.

Besonders starke Diskussionen zur Bedienbarkeit finden sich bezüglich der Tatsache, dass zu jedem Zeitpunkt stets nur das nächstkleinere bzw. nächstgrößere äußere Magnetfeld ausgewählt werden kann. „Es ist 'n bisschen schade [...], dass man nicht direkt

auf die, auf die übernächste Stufe gehen kann. [...] Okay, wodurch auf der anderen Seite wieder gewährleistet sein soll, dass man im Prinzip wirklich diesen Ablauf nachvollzieht“ ist eine exemplarische Aussage, die beide Meinungen zu diesem Aspekt zusammengefasst wiedergibt. Einerseits wünschen die Studierenden sich den direkten Übergang zu allen möglichen Werten für die Feldstärke unabhängig vom Ort. Andererseits erkennen die Lernenden jedoch auch den Nutzen dieser Einschränkung, da auf diese Art und Weise gewährleistet wird, dass die Prozesse, die zur Ausbildung der magnetischen Hysteresekurve führen, vollständig nachvollzogen werden. Für eine Überarbeitung könnte in Erwägung gezogen werden die Auswahl nach vollständigem Durchlauf eines Hystereseprozesses zu öffnen.

Auch die Berücksichtigung von nur fünf möglichen Werten für die äußere Magnetfeldstärke wird unterschiedlich beurteilt. Zum einen erscheint diese Einschränkung sinnvoll, da „das auch nicht so deutlich geworden [wäre] mit dieser Vektoraddition“. Zum anderen würde eine Gruppe gerne untersuchen was geschieht, wenn „es zuvor negativ, stark negativ magnetisiert war und dann nur leicht positiv magnetisiert wird oder umgekehrt“. Für die Überarbeitung gilt es somit auch die Anzahl der möglichen Werte für die Feldstärke zu überdenken. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass für äußere Magnetfelder der Stärke $0 \text{ mT} < B < 30 \text{ mT}$ der Verlauf der Hysteresekurve nicht mehr eindeutig ist und sich das Spektrum möglicher Übergänge zu den jeweiligen Sättigungsmagnetisierungen $\pm \vec{M}_s$ erweitert. An dieser Stelle ist zu entscheiden welche Erweiterungen sinnvoll sind und durch welche zusätzlichen Elemente die kognitive Belastung der Lernenden durch die Simulation zu stark vergrößert wird.

Unabhängig von der konkreten Ausgestaltung finden die Studierenden es „halt cool, dass man sich das selber so aussuchen konnte“, sodass die Interaktivität grundsätzlich sehr positiv beurteilt wird. „Man könnte sonst ja auch ’n Bild nehmen, wo die Hysteresekurve drauf ist. Aber dadurch, dass man beim Widget eben einstellen konnte, wie sieht das aus oder was passiert jetzt bei verschiedenen Feldstärken, konnte man sozusagen die Entstehung so ’n bisschen besser nachvollziehen“ ist eine Äußerung, die diesen Eindruck unterstützt.

K4: Fachliche Inhalte

Den Studierenden bleibt vom Widget nach eigener Aussagen vor allem „diese Kurve in Erinnerung“ und sie erinnern sich, dass „das Magnetfeld die Magnetisierung irgendwie beeinflusst“. An vielen Kommentaren lässt sich erkennen, dass das Bild der Hysteresekurve von den Lernenden als sehr prägnant wahrgenommen wird und im Gedächtnis bleibt. Vereinzelt wird kritisiert, dass „die Erklärung selbst“ nicht in der interaktiven Simulation integriert ist. Da die physikalischen Ursachen, die zur Entstehung der Hysteresekurve führen, jedoch äußerst komplex

sind, erscheint es aus fachdidaktischer Perspektive sinnvoller mit dem Widget lediglich eine Beschreibung der makroskopischen Magnetisierung und mikroskopischen magnetischen Momente bereitzustellen und die Ursachenerklärung einer weiteren Komponente des Lehrkonzeptes zuzuweisen.

Etwas überraschend wird das Element der Vektorsumme von sämtlichen Lernenden äußerst positiv beurteilt. Es wird als „wirklich cool“ beschrieben, dass die magnetischen Momente sich „in eine Reihe legen oder aneinander legen“ oder „rüber wandern und sich aufsummieren“. Ursprünglich wurde angenommen, dass dieses eher formal-mathematische Element Schwierigkeiten erzeugen könnte. Die Ergebnisse der Gruppendiskussionen zeigen jedoch, dass dies bei der bisherigen Praxisdurchführung nicht der Fall ist.

Zusammengefasst zeigt sich, dass die interaktive Simulation zur Beschreibung ferromagnetischer Magnetisierungsprozesse von den Studierenden angenommen und grundsätzlich für die Vermittlung der Inhalte als sinnvoll beurteilt wird. Zahlreiche konkrete Hinweise der Gruppendiskussionen und offenen Fragebogenitems weisen jedoch auch auf die Notwendigkeit bestimmter Überarbeitungen hin, die im weiteren Verlauf des Projektes „Magnetismus hoch 4“ durchgeführt werden sollen.

Beim Einsatz der interaktiven Simulation in den Seminaren zeigt sich in persönlichen Gesprächen zwischen Lehrendem und Studierenden ein weiterer Aspekt, der u.a. in den Tonaufzeichnungen festgehalten ist. Die Lernenden interessieren sich stark für ein zugehöriges Realexperiment, das die im Widget dargestellten Phänomene direkt erfahrbar macht. Berücksichtigt man dies zusammen mit der im Wesentlichen positiven Beurteilung der interaktiven Simulation, lässt sich folgern, dass die gemeinsame Nutzung von digitalen Inhalten und realen Experimenten ein interessantes Element der Wissensvermittlung darstellt, dass in der fachdidaktischen Forschung bislang nicht vertieft untersucht und erforscht wird.

5. Ausblick und Fazit

Interaktive Simulationen stellen nur ein Element im großen Feld digitaler Ansätze zur Wissensvermittlung dar. Studien zeigen, dass Schulen aktuell technisch bereits gut ausgestattet [26], [27], aber die Lehrerinnen und Lehrer gleichsam den Wunsch äußern im Umgang mit digitalen Inhalten und Techniken besser geschult zu werden [28]. In den Universitäten existieren dazu bereits unterschiedliche Ansätze die Ausbildung im Bereich digitaler Medien zu verbessern [29], [30]. Bei den bisherigen Untersuchungen wird jedoch nur am Rande der Zusammenhang zwischen multimedialen Inhalten und Realexperimenten untersucht. Die in diesem Beitrag beschriebenen Befunde weisen darauf hin, dass die integrative Nutzung von interaktiven und digitalen Medien und realen Experimenten das Lernen physi-

kalischer Zusammenhänge möglicherweise positiv beeinflussen könnte. Das von der *Joachim Herz Stiftung* geförderte Projekt „Real:Digital – Die Integration zweier Welten“ beschäftigt sich mit der Entwicklung eines Lehrkonzeptes, das die Transparenz des Digitalen und die Glaubwürdigkeit des Realen aufgreift und durch den integrativen Einsatz beider Komponenten versucht eine Verbesserung der Lernwirksamkeit zu erzielen. Die Entwicklung des Lehrkonzeptes soll durch entsprechende fachdidaktische Forschungsansätze ergänzt werden.

Für die interaktive Simulation zu ferromagnetischen Magnetisierungsprozessen wird basierend auf den Ergebnissen der Untersuchung eine Überarbeitung der aktuellen Version des Widgets vorgenommen werden.

6. Anmerkungen

Das in diesem Artikel beschriebene Widget und weitere Elemente des Projektes „Magnetismus hoch 4“ sind unter <http://www.magnetismushoch4.de> verfügbar. Die Erhebungsinstrumente und verwendeten Materialien der Praxisdurchführung können auf Nachfrage zur Verfügung gestellt werden.

7. Literatur

- [1] Merzyn, G. (1989): *Unterricht zum Magnetismus und das Elementarmagnet-Modell*. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie 37, 44, 2-3.
- [2] Schomaker, C. (2013): *Magnetismus – ein faszinierendes (Alltags-)Phänomen*. In: Grundschule Sachunterricht 15, 59, 2-3.
- [3] Von Aufschnaiter, C. & Wodzinski R. (2013): *Spiralcurriculum Magnetismus. Naturwissenschaftlich abreiten und denken lernen - Sekundarbereich (Bd. 3)*. Seelze: Friedrich.
- [4] Hardy, I. & Steffensky, M. (2013): *Spiralcurriculum Magnetismus. Naturwissenschaftlich abreiten und denken lernen - Elementarbereich (Bd. 1)*. Seelze: Friedrich.
- [5] Möller, K., Bohrmann, M., Hirschmann, A., Wilke, T. & Wyssen, H.-P. (2013): *Spiralcurriculum Magnetismus. Naturwissenschaftlich abreiten und denken lernen - Primarbereich (Bd. 2)*. Seelze: Friedrich.
- [6] Wernig, S. (2001): *Magnetismus – Zauberei?* In: Universitäten Klagenfurt, Wien, Innsbruck, Graz (Hrsg.): Pädagogik und Fachdidaktik für Lehrer/Innen (S. 1-10). Klagenfurt: IFF.
- [7] Kopp, B. & Martschinke, S. (2010): *Lernvoraussetzungen zum Thema Magnetismus*. In: K.-H. Arnold, K. Hauenschild, B. Schmidt & B. Ziegenmeyer (Hrsg.): Zwischen Fachdidaktik und Stufendidaktik (S. 189-192). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- [8] Erickson, G. (1994): *Pupils' Understanding of Magnetism in a Practical Assessment Context: The Relationship Between Content, Process and Progression*. In: P. J. Fensham & R. F. Gunstone (Eds.): *The Content of Science: A Constructivist Approach to Its Teaching and Learning* (pp. 80-97). London: Routledge.
- [9] Maloney, D. P., O'Kuma, T. L., Hieggelke, C. J. & Van Heuvelen, A. (2001): *Surveying Students' Conceptual Knowledge of Electricity and Magnetism*. In: American Journal of Physics 69, 7, 12-23.
- [10] Pollock, S. J. (2009): *Longitudinal Study of Student Conceptual Understanding in Electricity and Magnetism*. In: Physical Review Special Topics – Physics Education Research 5, 020110.
- [11] Simon, M. D., Heflinger, L. O. & Geim, A. K. (2001): *Diamagnetically Stabilized Magnet Levitation*. In: American Journal of Physics 69, 6, 702-713.
- [12] Daffron, J. A. (2009): *A Para- and Diamagnetism Balance*. In: The Physics Teacher 47, 7, 395.
- [13] Chen, Z. & Dahlberg, E. D. (2011): *Deformation of Water by a Magnetic Field*. In: The Physics Teacher 49, 3, 144-146.
- [14] Laumann, D. & Heusler, S. (2016): *Welche Stoffe sind „nicht“ magnetisch?* In: C. Maurer (Hrsg.): Authentizität und Lernen – das Fach in der Fachdidaktik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Berlin 2015 (S. 367-369). Regensburg: Universität Regensburg.
- [15] Laumann, D. (2016): *Magnetismus hoch 4 – Fachliche Strukturierung und Entwicklung multipler Repräsentationen zum Magnetismus für die Hochschule*. Dissertation. Westfälische Wilhelms-Universität Münster.
- [16] Laumann, D. & Heusler, S. (2015): *Konzept für den Einsatz von Tablets zur multimedialen Visualisierung von Magnetismus*. In: A. Bresges, A. Pallack & L. Mähler (Hrsg.): MNU Themenspezial MINT – Unterricht mit Tablet-Computern lebendig gestalten (S. 89-95). Neuss: Verlag Klaus Seeberger.
- [17] Laumann, D. & Heusler, S. (2015): *Magnetismus hoch 3 – Selbstkonsistente Modellierung von Dia-, Para- und Ferromagnetismus*. In: PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur Frühjahrstagung, Wuppertal.
- [18] Laumann, D. (2015): *Der magneto-optische Kerr-Effekt als Praktikums- und Schulversuch*. In: PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur Frühjahrstagung, Wuppertal.
- [19] Reinmann, G. (2005): *Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research-Ansatz in der Lehr-Lernforschung*. In: Unterrichtswissenschaft 33, 1, 52-59.
- [20] Fischer, F., Waibel, M. & Wecker, C. (2005): *Nutzenorientierte Grundlagenforschung im Bildungsbereich*. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft 8, 3, 427-442.

- [21] Jank, W. & Meyer, H. (2002): *Praxisbuch Meyer – Didaktische Modelle*. Berlin: Cornelsen.
- [22] Billmann-Mahecha, E. & Gebhard, U. (2014): *Die Methode der Gruppendiskussion zur Erfassung von Schülerperspektiven*. In: D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.): *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 147-158). Berlin: Springer.
- [23] Flick, U. (2012): *Triangulation*. In: G. Oelerich & H.-U. Otto (Hrsg.): *Empirische Forschung und Soziale Arbeit* (S. 323-328). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- [24] Krüger, D. & Riemeier, T. (2014): *Die qualitative Inhaltsanalyse – eine Methode zur Auswertung von Interviews*. In: D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.): *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 133-146). Berlin: Springer.
- [25] Mayring, P. (2010): *Qualitative Inhaltsanalyse*. Weinheim: Beltz.
- [26] Hanekamp, G. (2014): *Zahlen und Fakten: Allensbach-Studie 2013 der Deutsche Telekom Stiftung*. In: J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.): *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 21-28). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- [27] Initiative D21 (2011): *Bildungsstudie: Digitale Medien in der Schule*. Berlin: Cornelsen.
- [28] Pfisterer, S. (2014): *Eine digitale Agenda für die Schule*. In: J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.): *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 15-20). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- [29] Krause, M. & Eilks, I. (2015): *Lernen über digitale Medien in der Chemielehrerbildung*. In: *Chemie konkret* 22, 173-178.
- [30] Hoffmann, S. & Bresges, A. (2010): *Medienentwicklung als fester Bestandteil der Physiklehrerbildung*. In: *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur Frühjahrstagung*, Hannover.